 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i6.6030

Research on the Integration of Intelligent Warehouse Management System with Hydropower Production Management System

Shen Dai

Yuanda Industrial Technology (Hangzhou) Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310020, China

Abstract

With the continuous development of the hydropower industry and the increasing demand for production efficiency and refined material management, how to break down data barriers between warehousing and production through informatization means and achieve efficient material allocation has become a key focus in the industry. This paper centers on the integration of the Warehouse Management System (WMS) and the Hydropower Production Management System (HPMS), conducting an in-depth analysis of their synergistic effects in data sharing, material scheduling, and production responsiveness. Practical case studies are used to validate their effectiveness in optimizing the "last-mile" material distribution challenge. The paper proposes strategies for data sharing and material scheduling optimization, including dynamic inventory alert mechanisms, intelligent picking and distribution optimization, and batch expiration management. The study concludes that the deep integration of WMS and HPMS significantly enhances material service and production capacity in the hydropower industry, effectively addressing the "last-mile" distribution challenge. Future development directions are also discussed.

Keywords

Intelligent Warehouse Management System; WMS; Hydropower Production Management System; HPMS; System Integration

智能仓储管理系统与生产管理系统的集成研究

代申

远大工控技术（杭州）有限公司，中国 · 浙江 杭州 310020

摘　要

随着水电行业的不断发展，对生产效率和物资管理精细化需求的提升，如何通过信息化手段打通仓储与生产之间的数据壁垒，实现物资的高效调配，成为行业关注的重点。本文以智能仓储管理系统（WMS）与水电生产管理系统（HPMS）的数据集成为研究核心，深入剖析两者在数据共享、物资调度及生产响应方面的协同作用，并通过实际案例验证其在优化物资配送“最后一公里”问题上的实效性。文章中提出了数据共享与物资调度优化策略，包括动态库存预警机制、智能拣选与配送优化以及批次有效期管理，最终得出结论，WMS与HPMS的深度集成显著提升了水电行业的物资服务生产能力，解决了“最后一公里”配送难题，并展望了未来的发展方向。

关键词

智能仓储管理系统；WMS；水电生产管理系统；HPMS；系统集成

1 引言

水电行业的生产具有设备依赖性强、物资需求复杂（尺寸要求各不相同）、供应链周期长等特点，传统仓储管理模式常面临库存冗余、响应滞后、人工操作误差等问题。智能仓储管理系统（以下简称：WMS）利用物联网、大数据等先进技术，实现了库存管理的自动化和精细化。例如，在电商行业，WMS 通过自动化流程和实时数据分析，优化了入库和出库管理，提高了库存周转率和订单履行效率。在制造业，WMS 与生产计划系统集成，实现了原材料和成品库存的精确控制，降低了库存成本。物流中心通过 WMS 的应用，实现了仓库布局的优化和库存策略的数据分析，显著提升了作业效率和库存占用率。两者的有效对接，能够实现从物资存储到生产消耗的全链路贯通，为“物资服务生产”提供实时数据支撑，优化资源配置效率。本文将深入探讨 WMS 与水电生产管理系统（以下简称：HPMS）集成的必要性、实施路径以及带来的效益，旨在为水电行业提供一种新的物资管理与生产协同模式。

2 WMS 与 HPMS 的协同需求分析

2.1 当前业务场景中的痛点

2.1.1 信息孤岛问题

传统模式下，WMS 与 HPMS 的数据交互主要依赖人工录入或定期导出导入，导致以下问题：

【作者简介】代申（1987–），男，中国安徽阜阳人，助理工程师，从事水电行业智能仓储管理系统研究。

生产需求响应滞后：当生产设备突发故障需紧急更换备件时，WMS 无法实时获取 HPMS 的维修工单信息，导致备件调配延误。据统计，某大型水电站因备件配送延迟造成的停机时间每年达 120 小时。

库存管理粗放：HPMS 无法实时获取库存动态，安全库存设定依赖经验值，导致部分物资积压（如某电厂润滑油库存超储率达 28%），而关键备品备件缺货率高达 17%。

2.1.2 物资配送效率低下

水电生产场景中，物资配送需经过“仓库拣选→运输→现场交接”多环节，传统人工调度存在以下瓶颈：

水电生产场景中，物资配送需经过“仓库拣选→运输→现场交接”多环节，传统人工调度存在以下瓶颈：

路径冗余：AGV 配送路径未与仓库布局和生产工位动态匹配，平均空驶率达 35%（施耐德电气，2023）。

人工干预过多：紧急维修场景下，调度员需手动调整配送优先级，单次任务耗时长达 15 分钟。

2.1.3 数据追溯困难

水电设备维护涉及大量备件批次、设备维修记录等数据，但传统管理模式下：

数据分散：备件出入库记录、设备维修工单、供应商信息分别存储于 WMS、HPMS、ERP 系统中，整合耗时耗力。

追溯链条断裂：某次汽轮机故障分析中，因无法快速定位故障部件的采购批次和使用历史，导致排查周期延长 48 小时。

2.2 协同目标及解决方案

为解决上述痛点，WMS 与 HPMS 需实现以下协同目标：

2.2.1 实时数据共享

技术路径：通过 RESTful API 建立双向数据接口，结合 Kafka 消息队列实现高并发数据传输。例如，HPMS 生成生产计划后，实时推送至 WMS 的物资需求队列，触发库存检查与备货流程。

业务场景：某水电站在机组检修前，HPMS 提前 72 小时将备件需求清单同步至 WMS，系统自动完成库存核对并生成采购建议，使备件齐套率从 75% 提升至 98%。

2.2.2 智能调度优化

算法应用：采用遗传算法优化拣货路径，结合仓库布局和生产工位坐标，使 AGV 平均行驶距离缩短 23%。

动态调度：在紧急抢修场景下，HPMS 通过设置任务优先级（最高优先级权重设为 9），强制中断低优先级任务，保障关键物资 30 分钟内送达。

2.2.3 全流程追溯

数据整合：建立物资唯一标识（如二维码 +RFID），关联采购、入库、出库、消耗全流程数据。

应用实例：某水电站发电机轴承故障后，通过扫描备件标签，5 分钟内调取采购日期、供应商、安装记录等信息，辅助快速定位故障原因。

3 WMS 与 HPMS 的集成架构设计

3.1 系统对接逻辑

数据层集成：通过 API 接口形式或 Web Service 实现跨系统通信，采用消息队列（如 Kafka）处理高并发数据，结合事务反馈机制确保数据一致性。物联网技术（如 RFID、传感器等硬件设备）实时采集库位状态及环境参数，支持动态数据更新。

业务层协同：HPMS 生成生产计划后，通过 API 自动向 WMS 发送物资需求指令；WMS 根据库存策略（如先进先出、安全库存等）分配生产物资，并调度 AGV/ 无人叉车执行搬运及配送任务。关键业务流程采用异步处理降低耦合度，从而提升了灵活性。

扩展性设计：采用微服务架构将系统功能模块化，支持独立部署与升级，预留插件接口以快速接入第三方应用或新型设备的接入。数据层通过统一接口服务实现标准化集成，降低开发成本及后期维护成本。

3.2 技术实现路径

接口标准化：采用 API 或 Web Service 实现跨系统之间的有效通信，定义统一的 JSON/XML 数据格式，便于数据传输。

实时性与可靠性保障：通过消息队列（如 Kafka）处理高并发数据，结合有效的事务机制防止数据丢失。

安全策略：通过数据加密传输、权限分级管理，避免敏感信息泄露等风险。

性能优化：我们特别针对大规模数据交互场景，引入了高效的缓存机制（例如 Redis），以显著减轻数据库访问压力，并大幅提升智能仓储管理系统的响应速度。同时，我们还对关键业务流程进行了异步处理，有效降低了系统间的耦合度，提升了系统的灵活性和可扩展性。

扩展性设计：为适应未来功能扩展需求，采用微服务架构将 WMS 与 HPMS 的功能模块化，支持独立部署和升级；预留插件接口以快速接入第三方应用或新型智能设备。

监控与运维体系：通过部署数据采集监控平台，企业能够实时监控系统运行状态、接口调用情况及任务执行进度，同时利用先进的告警机制及时发现并解决异常问题，从而确保生产流程的稳定性和高效性。

用户体验改进：开发直观的可视化操作界面，全面展示库存分布、物流状态及生产计划等关键信息，使管理人员能够轻松掌握全局动态；同时，提供便捷的移动端支持，确保现场工作人员能够随时随地查询和处理任务。

4 数据共享与物资调度优化策略

4.1 动态库存预警机制

4.1.1 预测模型构建

数据输入：整合 HPMS 的生产计划数据（含设备类型、维修频率）、WMS 的历史出库数据、供应商交货周期等多维度。

算法选择：采用 LSTM 神经网络预测生产物资消耗趋

势，建立模型训练数据集包含某水电集团 3 年的运营数据，预测准确率达 89%。

4.1.2 阈值设定

安全库存公式：$SS=\mu \times LT+Z \times \sigma \times LT$ 其中，μ 为日均消耗量，LT 为交货周期，σ 为标准差，Z 为置信水平系数（取 1.65 对应 95% 置信区间）。

4.1.3 预警响应

三级预警机制：

黄色预警（库存 ≤7 天用量）：系统自动补货提醒；

橙色预警（库存 ≤3 天用量）：启动紧急采购流程；

红色预警（库存 ≤1 天用量）：暂停相关生产计划审批。

4.2 智能拣选与配送优化

4.2.1 路径规划算法

模型输入：仓库布局（货架位置、通道宽度、货位数量）、物资存放位置、AGV 当前位置、目的地坐标。

算法实现：采用改进的 A* 算法，加入障碍物自动避让和动态权重因子（如紧急任务权重提升 30%）。经过系统测试显示，拣货路径平均缩短 28% 左右。

4.2.2 多目标调度

优先级矩阵：根据生产任务紧急程度、物资重要性、配送距离等多维度，构建动态优先级评估模型。例如：

任务类型	紧急系数	物资价值	综合权重
设备抢修	9	8	8.5
定期维护	3	5	4.2

4.2.3 自动化设备协同

AGV 调度策略：采用动态负载均衡算法，当某区域 AGV 数量超过阈值时，自动分流任务至邻近区域。某电厂实施后，AGV 利用率从 65% 提升至 89%。

4.3 批次有效期管理

效期预警规则：近效期（≤6 个月）：每周生成库存报表；临效期（≤3 个月）：每日邮件提醒；超效期：系统自动锁定，禁止出库。

消耗策略：优先消耗近效期物资，结合生产计划动态调整。某水电站实施后，过期物资损失率从 12% 降至 3%。

5 应用案例与效益分析

5.1 案例背景

某大型水电集团下属 A 电站，装机容量 1200MW，年均物资吞吐量约 50 万件。原有 WMS 与 HPMS 系统独立运行，日均处理订单量约 2000 单，但存在以下问题：（1）备件配送平均耗时 2.5 小时；（2）库存周转率 0.8 次 / 月；（3）紧急采购占比达 25%。

5.2 实施过程

集成阶段：历时 3 个月完成 WMS 和 HPMS 系统对接，重点解决协议兼容性问题（如 Oracle EBS 与 SAP ECC 的接口适配）。

试运行阶段：通过模拟沙盒环境的极端场景（如单日 500 单突发需求），验证系统稳定性和耐压性。

推广阶段：在集团内 5 家电站全面推广实施，累计处理数据量达 1.2 亿条。

5.3 效益分析

5.3.1 效率提升

配送时效：单次配送平均时间从 120 分钟缩短至 35 分钟，AGV 响应准确率达 99.9%。

库存周转：库存周转率提升至 1.2 次 / 月，呆滞物资占比下降至 8%。

5.3.2 成本优化

人工成本：仓储管理人员减少 15 人，年节约人力成本约 220 万元。

损耗降低：过期物资损失减少约 180 万元 / 年。

5.3.3 管理提升

数据透明度：物资流向可追溯率达 100%，质量事故处理周期缩短 60%。

决策支持：基于大数据分析的采购建议，使年度采购成本降低 12%。

6 挑战与未来展望

6.1 实施难点

系统兼容性问题主要体现在：不同厂商的 WMS 与 HPMS 接口协议存在差异，因此需要进行定制化开发。

人员适应性：操作人员需同时掌握仓储与生产系统的交互逻辑，培训周期平均为 4 周 / 人。

6.2 技术趋势

数字孪生：构建仓储与生产环境的数字孪生模型，实时模拟物资流动与生产进度，优化调度决策。

AI 预测：结合生产历史使用物资数据和 AI 大模型学习算法，实现物资需求的精准预测。例如，基于 LSTM 模型预测某电站年度备件需求，误差率控制在 5% 以内。

7 结论 / 结束语

WMS 与 HPMS 的深度集成通过数据共享与智能调度，显著提升了水电行业的物资服务生产供应能力，解决了“最后一公里”配送难题。本文提出的集成框架设计已在多个大型水电站成功应用，验证了其在效率提升、成本优化和管理精细化方面的有效性。未来，随着 5G 边缘计算、数字孪生等技术的普及，两系统的协同将向更实时、更自主的方向发展，为水电行业数字化转型提供持续动力。

参考文献

[1] 孙永武。企业ERP与MES系统集成的研究与实现. 苏州：苏州大学

[2] 彭麟，邵海龙，张胜．基于Web Service的WMS与ERP系统接口技术的研究。《物流技术与应用》. 2015，第010期。北京，中国

[3] 詹寅维。Web Service在WMS和ERP系统中的接口应用。《物流技术与应用》|2012年第9期|107-108.太原，中国

[4] 杨砚砚，陆爽，胡永焕。电力配网物资供应快速响应机制建设。《经营与管理》2015年第3期|67-70.上海，中国